

Ю. Н. Логинов, Н. Ф. Костоусова
УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург
j.n.loginov@urfu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ QFORM ДЛЯ ОПИСАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

Для оценки напряженно-деформированного состояния при прессовании полый заготовки применен программный комплекс QFORM. Показано влияние конфигурации очага деформации при прессовании на распределение напряжений и деформаций. Проанализированы средние напряжения, скорости и степени деформации. Сделан вывод об отсутствии мертвых зон при угле наклона образующей матрицы 45° .

Ключевые слова: прессование, деформации, напряжения, угол матрицы.

Software package QFORM is applied to evaluate the stress-strain condition during extrusion of the hollow billet. It shows the influence of the configuration of the deformation zone when extrusion on the distribution of stresses and strains. The average stresses, ratio strain and degree of deformation are analyzed. The conclusion about the absence of dead zones at die angle 45° has done.

Key words: extrusion, strain, stress, die angle.

Прессование является главной заготовительной операцией в технологии производства заготовок из цветных металлов и сплавов. В большинстве случаев этот метод обработки предопределяет уровень свойств деформируемого металла [1–5].

Целью работы являлась оценка напряженно-деформированного состояния при прессовании трубных заготовок с различной формой образующей матрицы. В качестве инструмента для анализа использован программный продукт QForm2D/3D, который разрабатывается и поддерживается компанией «КванторФорм» (Россия). Подробная постановка задачи прессования в упомянутой программе описана в статье [6].

В качестве модельного материала при проведении расчетов использован титановый сплав ВТ6, температура прессования – 1000°C . При постановке задачи использовался закон трения по А. Н. Леванову с фактором трения $\mu = 0,3$. Используемые в расчете размеры заготовки и инструментов: $D_0 = 169$ мм и $D_1 = 86$ мм – внешний диаметр заготовки соответственно до и после прессования, $D_{\text{и}} = 46$ мм – диаметр иглы, $S_0 = 61,5$ мм и $S_1 = 20$ мм – толщина стенки заготовки соответственно до и по

сле прессования, $L = 170$ мм – длина заготовки до подхода к поверхности матрицы, $\alpha = 45^\circ$ – угол наклона матрицы (угол между образующей рабочей поверхности матрицы и осью симметрии). Коэффициент теплопередачи $30 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$, коэффициент вытяжки равен 5, что соответствует степени деформации $e = \ln 5 = 1,6$.

На рис. 1 изображена схема прессования, а областями равного уровня показано распределение деформации в очаге деформации и в готовом изделии при применении конической матрицы с углом наклона, образующей 60° . Описание неравномерности распределения деформации в этом случае прессования более подробно приведено в статье [7].

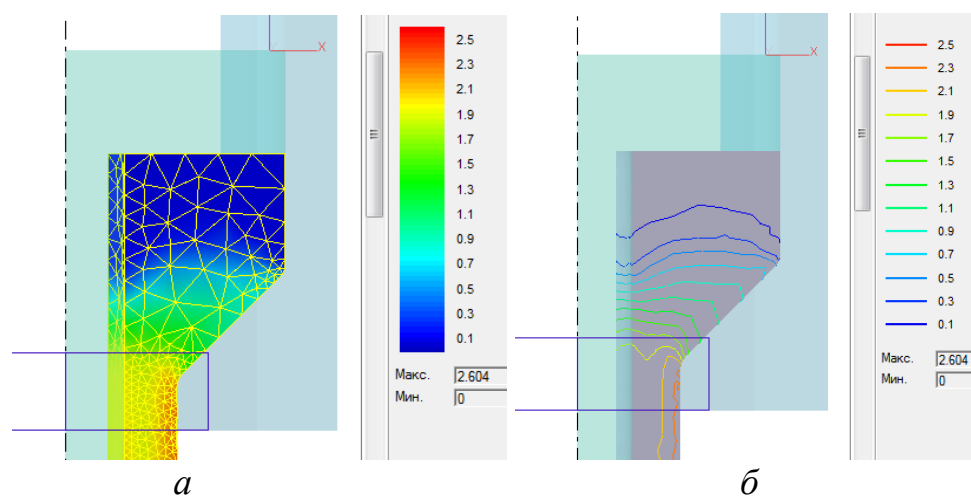


Рис. 1. Распределение степени деформации при прессовании полой заготовки: сетка МКЭ и области цветных уровней (а), линии равного уровня (б)

Степень деформации 1,6 достигается ближе к центру заготовки, на периферии максимум степени деформации оказывается равен 2,6, что примерно на 60 % выше, чем обеспечивается расчетом через коэффициент вытяжки и что объясняется дополнительными сдвигами вблизи поверхности матрицы.

На рис. 2 с помощью векторного отображения приведено поле скоростей перемещений. Модуль вектора отражается длиной соответствующей стрелки, а направление стрелки говорит о направленности вектора. На рисунке видно, что наименьшее перемещение свойственно областям металла, примыкающим к пресс-шайбе, наибольшие модули достигаются на выходе из очага деформации. Видно также, что имеются зоны разреженности векторов, т. е. те районы, где модуль вектора близок к нулю, эта зона существует около места стыка втулки контейнера с матрицей.

Сгущение векторов наблюдается ближе к выходу из матрицы. Вблизи конической поверхности матрицы векторы направлены вдоль этой поверхности, что говорит об отсутствии жесткой (мертвой) зоны. Таким об-

разом, заданные условия трения и конфигурация инструмента в этом случае обеспечивают режим скольжения.

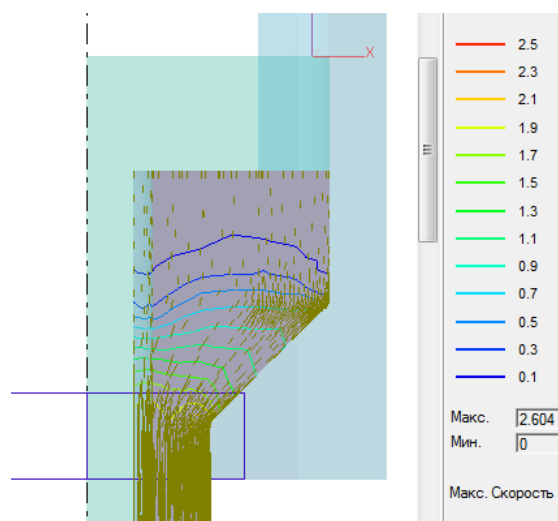


Рис. 2. Векторы скоростей перемещений при прессовании полый заготовки (изолинии отображают степень деформации)

На рис. 3, *а* отображены изолинии скоростей деформации. Видно, что существует область повышенных скоростей деформации, и она при-
мыкает к поверхности матрицы. Происходит это вследствие тормозящего действия этой поверхности.

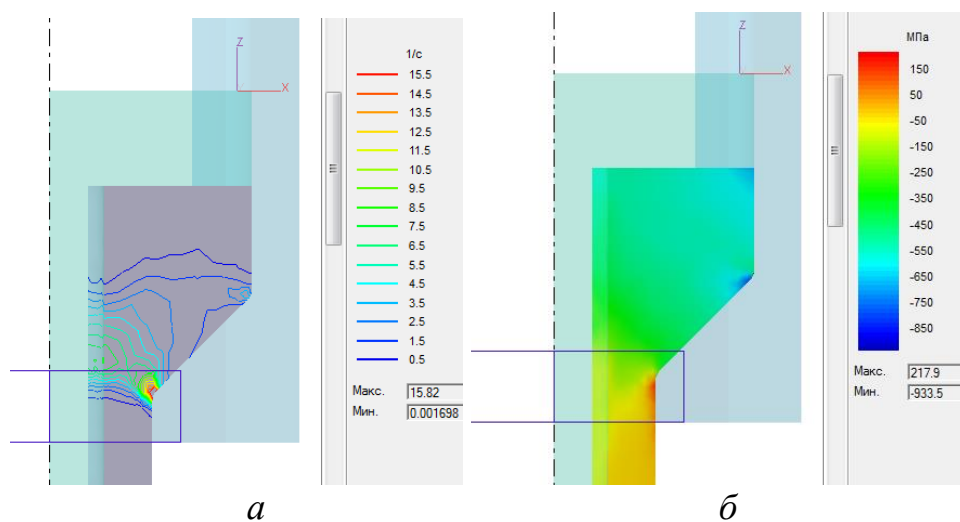


Рис. 3. Распределение скорости деформации и среднего напряжения при прессовании полый заготовки

Наличием зоны пониженной скорости деформации можно объяснить эффект минимума объемной доли рекристаллизованных зерен, наблюдаемый при прессовании алюминиевых сплавов [8]. Таким образом, это косвенно подтверждает адекватность полученного решения. Влияние скоро-

сти деформации на структурные параметры прессуемого изделия показано в статьях [9, 10].

На рис. 3, б показано распределение среднего напряжения по объему заготовки. Области наибольших сжимающих напряжений (до 930 МПа) локализованы вдоль стенки контейнера и вдоль рабочей поверхности пресс-шайбы. Следовательно, здесь трудно представить себе наличие зон разрушения металла. Средние напряжения снижаются ближе к выходу из очага деформации. Поэтому области металла на выходе из очага деформации могут подвергаться разрушению с появлением микро и макротрещин, что часто наблюдается в реальном производстве [11].

Вывод. Применение программного комплекса QFORM позволяет проанализировать напряженно-деформированное состояние процесса прессования полой заготовки.

Список литературы

1. *Duan Xinjian*. Application of finite element method in the hot extrusion of aluminium alloys / Duan Xinjian, X. Velay, T. Sheppard // *Materials Science and Engineering A*. 2004. V. 369. P. 66–75.
2. *Ершов А. А.* Возможности QFORM-EXTRUSION на примере прессования сложных профилей / А. А. Ершов, В. В. Котов, Ю. Н. Логинов // *Металлург*. 2011. № 10. С. 32–37.
3. *Lin Chao, Ransing Rajesh S.* An innovative extrusion die layout design approach for single-hole dies / Lin Chao, Ransing Rajesh S. // *J. of Materials Processing Technology*. 2009. V. 209. P. 3416–3425.
4. *Логинов Ю. Н.* Тестирование системы DEFORM в режиме расчета деформаций при прессовании титана в 2D и 3D-постановках / Ю. Н. Логинов, А. А. Ершов, В. В. Котов // *Титан*. 2011. № 3. С. 18–24.
5. *Gordon W. A.* Overview of adaptable die design for extrusions / W. A. Gordon, C. J. van Tyne, Y. H. Moon // *J. of Materials Processing Technology*. 2007. V. 187–188. P. 662–667.
6. *Логинов Ю. Н.* Аналитическое исследование с использованием МКЭ прессования альфа – титановых сплавов и прогнозом ориентации текстуры / Ю. Н. Логинов, А. А. Ершов // *Технология легких сплавов*. 2012. № 3. С. 79–87.
7. *Логинов Ю. Н.* Моделирование процесса прессования трубной заготовки из титанового сплава в программе QFORM 2D/3D. / Ю. Н. Логинов, В. В. Котов // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2010. № 12. С. 36–40.
8. *Логинов Ю. Н.* Неравномерность структуры прессованных труб из алюминиевого сплава АМг6 / Ю. Н. Логинов, А. Г. Илларионов // *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2013. № 6. С. 35–40.

9. *Логинов Ю. Н.* Влияние скорости деформации на эффект структурного упрочнения прессованных труб из алюминиевого сплава 6061 / Ю. Н. Логинов, О. Ф. Дегтярёва // *Технология легких сплавов*. 2007. № 4. С. 123–127.
10. *Логинов Ю. Н.* Особенности формирования свойств горячепрессованной заготовки из сплава АМГ6. Кузнечно-штамповочное производство / Ю. Н. Логинов, О. Ф. Дегтярёва, Л. В. Антоненко // *Обработка материалов давлением*. 2007. № 6. С. 14.
11. *Логинов Ю. Н.* Изучение напряженно-деформированного состояния для предупреждения образования продольных трещин в прессованных трубах / Ю. Н. Логинов, Л. В. Антоненко // *Цветные металлы*. 2010. № 5. С. 119–122.